

Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Moxotó

Gabriel Victor Silva do Nascimento
Universidade Federal do Rio Grande do
Norte - UFRN

Eberson Pessoa Ribeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Pernambuco - IFPE

RESUMO

O semiárido do Nordeste do Brasil possui intensa variabilidade pluviométrica com ocorrência de eventos extremos de precipitação. O impacto socioambiental da seca, nem sempre está relacionado à falta de chuvas em um determinado ano, mas está relacionado também a distribuição e frequência das chuvas. Dessa forma, foi analisado a variabilidade espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Moxotó empregando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965) com o objetivo de verificar ocorrências de mudanças nos padrões climáticos de precipitação e realizar o mapeamento do IAC para a média histórica analisada. Assim, utilizou-se valores médios mensais da precipitação pluviométrica da série histórica de 1989 a 2018, medidos de 17 estações pluviométricas, obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima. Os resultados revelaram uma estabilidade na precipitação da região, sem tendências significativas de aumento ou diminuição. Há correlação dos eventos extremos de secas e precipitação com os fenômenos de El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico. Ao analisar a série histórica por meio do IAC, observou-se que a bacia hidrográfica do rio Moxotó tem predomínio da classe habitual. Os anos de 1989, 2004, e 2009 foram classificados como anos extremamente úmidos. Já 1993, 1998 e 2012 foram anos extremamente secos. Enquanto 2002, 2007 e 2017 foram anos habituais. A quadra chuvosa também é caracterizada como habitual.

Palavras-chave: IAC; El Niño; La Niña; semiárido; variabilidade Climática.

Space-time rainfall variability in the Moxotó river basin

ABSTRACT

The semiarid region of Northeastern Brazil has intense rainfall variability with the occurrence of extreme precipitation events. The socio-environmental impact of drought is not always related to the lack of rainfall in a given year, but also to rainfall distribution and frequency. Thus, the space-time rainfall variability in the Moxotó river basin was analyzed using the Rainfall Anomaly Index (RAI) developed by Rooy (1965) with the objective of verifying occurrences of changes in rainfall patterns and carrying out the RAI mapping for the historical average under study. Thus, monthly average rainfall values from the 1989-2018 historical series were used, measured from 17 rainfall stations, obtained from Water and Climate Agency of the state of Pernambuco. Results reveal rainfall stability in the region, without significant increase or decrease trends. There is a correlation between extreme drought and rainfall events with El Niño, La Niña and Atlantic Dipole phenomena. When analyzing the historical series through the RAI, it was observed that the Moxotó River watershed predominantly falls into the classified as typical. The years 1989, 2004, and 2009 were classified as extremely wet, while 1993, 1998 and 2012 were extremely dry years



and 2002, 2007 and 2017 were typical years. The rainy season is also characterized as typical.

Keywords: RAI; El Niño; La Nina; semiarid; climatic variability.

Variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en la cuenca del río Moxotó

RESUMEN

La región semiárida del Nordeste de Brasil presenta una intensa variabilidad pluviométrica con la ocurrencia de eventos extremos de precipitaciones. El impacto socioambiental de la sequía no siempre está relacionado con la falta de lluvias en un año dado, sino que también está relacionado con la distribución y frecuencia de las lluvias. Así, se analizó la variabilidad espaciotemporal de la precipitación en la cuenca del río Moxotó utilizando el Índice de Anomalía de la Precipitación (RAI) desarrollado por Rooy (1965) con el objetivo de verificar la ocurrencia de cambios en los patrones climáticos de precipitación y realizar el mapeo de el IAC para el promedio histórico analizado. Así, se utilizaron valores medios mensuales de precipitaciones de la serie histórica de 1989 a 2018, medidos en 17 estaciones pluviométricas, obtenidos de la Agencia de Agua y Clima de Pernambuco. Los resultados revelan una estabilidad en la precipitación de la región, sin tendencias significativas de aumento o disminución. Existe una correlación entre los eventos extremos de sequía y precipitación con los fenómenos El Niño, La Niña y el Dipolo del Atlántico. Al analizar la serie histórica a través del IAC, se observó que la cuenca del río Moxotó tiene predominio de la clase habitual. Los años 1989, 2004 y 2009 se clasificaron como años extremadamente húmedos. 1993, 1998 y 2012 fueron años extremadamente secos. Mientras que 2002, 2007 y 2017 fueron años habituales. La temporada de lluvias también se caracteriza como de costumbre.

Palabras clave: IAC; El Niño; La Niña; Semiárido; variabilidad climática.

INTRODUÇÃO

O estudo da variabilidade espaço-temporal da precipitação no sertão nordestino tornou-se muito importante para a compreensão do funcionamento climático desta região. Assim, analisar o espaço a partir dos parâmetros de precipitação se faz necessário, pois esse fenômeno é responsável por alterar a conjuntura do semiárido com secas recorrentes (SENA; LUCENA; RIBEIRO, 2017). Além dessa variabilidade, necessita-se compreender também os eventos extremos de precipitação, visto que tais eventos se constituem em períodos de chuvas intensas e secas severas.

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) é um método que contribui para monitoramento climático e da variabilidade pluviométrica de uma determinada região, auxilia no planejamento agrícola e gerenciamento dos recursos hídricos, assim, é essencial nas medidas de adaptação, mitigação e tomada de decisão. O impacto social da seca, nem sempre está relacionado à falta de chuvas em um determinado ano, mas está relacionado também a distribuição e frequência das chuvas. Anos classificados como secos em sequência, podem levar a problemas socioeconômicos maiores do que um ano apenas de seca severa, já que este ano pode estar associado a anos com chuvas regulares (PEREIRA *et al.*, 2017).

No Brasil o semiárido é a região mais vulnerável às secas, sua ocorrência compromete a segurança energética, hídrica e a agricultura (MARENGO *et al.*, 2018). Nesse contexto, essa



região apresenta irregularidade na distribuição da precipitação durante o ano, sendo historicamente sensível aos eventos climáticos extremos (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016; COSTA *et al.*, 2021). Assim, é comum períodos de desabastecimento de água em vilas rurais e áreas urbanas. Além disso, em plantações sem o sistema de irrigação é frequente a perda da colheita (MATTOS; MAY, 2021).

Os eventos extremos de precipitação fazem parte do ritmo natural da atmosfera, consequência da ação de sistemas atmosféricos, os quais são determinantes na distribuição pluviométrica no Nordeste (GONÇALVES, 2013; ALVES, 2016; PALHARINI; VILA, 2017). Entende-se que o enfraquecimento ou a intensificação de tais sistemas podem originar e/ou acelerar os eventos extremos como a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos do Altos Níveis (VCANs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e os sistemas frontais, além das anomalias da temperatura do Pacífico como o El Niño e a La Niña, uma vez que influenciam nos índices pluviométricos de Pernambuco (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Dessa forma, para que o estudo em torno dos eventos extremos de precipitação fosse efetuado na bacia hidrográfica do rio Moxotó, empregou-se o método do IAC desenvolvido por Rooy (1965). De acordo com Sena, Lucena e Ribeiro (2017), esse método é caracterizado como simples e bastante efetivo nos estudos de variabilidade espaço-temporal da precipitação e de seus extremos. Com isso, o IAC facilita a realização de comparações do regime pluviométrico de determinado local ou região, baseado em dados históricos que sistematizam as precipitações, além de designar características da variabilidade e tendências pluviométricas (ARAÚJO *et al.*, 2007; MARCUZZO; MELO; ROCHA, 2011; SANCHES; VERDUM; FISCH, 2014). Assim, buscou-se avaliar a variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Moxotó empregando o IAC e verificar ocorrências de mudanças nos padrões climáticos da precipitação.

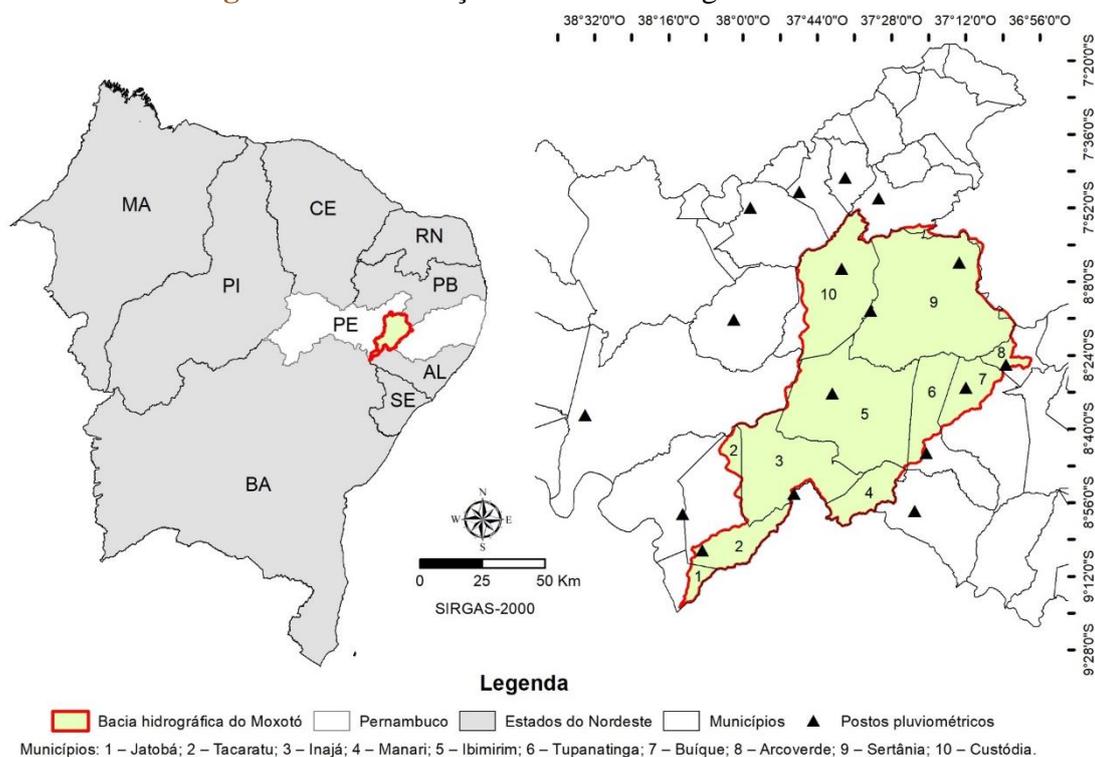
MATERIAL E MÉTODOS

O recorte utilizado na pesquisa foi a bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 1), a qual possui uma área total de 9.744,01 km². Localiza-se entre 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de latitude sul, e entre 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de longitude oeste, em sua maior parte, no Sertão do Moxotó no estado de Pernambuco. Limita-se: ao norte, com o estado da Paraíba e com a bacia do rio Pajeú; ao sul, com o estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 2 - GI2; a leste, com as bacias dos rios Ipojuca e Ipanema; e a oeste, com a bacia do rio Pajeú e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3. Abrange 12 municípios, dos quais Inajá e Sertânia estão totalmente inseridos na bacia; parcialmente inseridos são: Buíque, Floresta, Jatobá, Iguaraci e Tupanatinga; e os municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibibimirim, Manari e Tacaratu (APAC, 2020).

Na porção central do estado de Pernambuco (OLIVEIRA *et al.*, 2010), com altitude entre 200 a 1100 m, o relevo da bacia do Moxotó é caracterizado pelo planalto da Borborema, pela bacia sedimentar do Jatobá e pela depressão Sertaneja. Essa região é um hotspot de

biodiversidade, com vegetação predominante de Caatinga Hiperxerófila (MELO, 2010; ALVES, 2016). Além disso, o uso e ocupação do solo da bacia incluem áreas antropizadas, urbanas, agropecuárias e de vegetação arbórea fechada, arbustiva fechada, arbustiva aberta, arbustiva arbórea fechada e mata ciliar (OLIVEIRA *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do rio Moxotó



A precipitação pluviométrica foi usada como base climatológica para a elaboração dos parâmetros a serem pesquisados. Dessa forma foram utilizados nesta pesquisa os valores médios mensais da precipitação disponíveis da série histórica de 1989 a 2018, medidos de 17 estações pluviométricas como descrito no projeto. Os dados foram obtidos por meio da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

De acordo com Rooy (1965), a base de cálculo do Rainfall Anomaly Index (RAI) ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC) é técnica eficaz na avaliação variabilidade sazonal e interanuais da precipitação pluviométrica, sendo possível comparar desvios em relação à condição normal por meio das Equações 1 e 2:

$$IAC = 3 \left[\frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias positivas} \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right], \text{ para anomalias negativas} \quad (2)$$

em que: N = precipitação anual atual (mm); N^- = precipitação média anual da série histórica (mm); M^- = média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm); e X^- = média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

Ressalta-se que o cálculo desse índice depende da média de precipitação da área em que as anomalias positivas e negativas são valores acima ou abaixo da média, respectivamente. Assim, assume-se que essa distribuição obedece a uma curva normal, em sino, e que os desvios para seco ou úmido são relativos, em função do comportamento climático dos postos pluviométricos estudados, e não de fato de uma separação entre o que se considera úmido ou seco de uma forma global para o conjunto de tipos climáticos do globo. Os valores do IAC foram ordenados conforme a classificação de anos secos e úmidos proposto por Rooy (1965) com adaptações baseado em Freitas (2004; 2005) para o NEB (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva

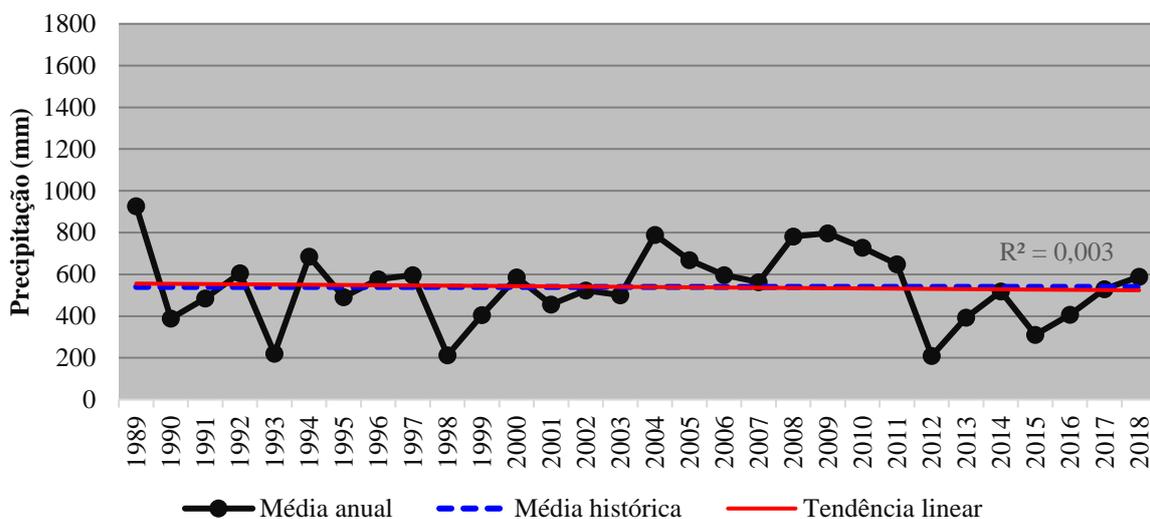
	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	De 4 acima	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito Úmido
	0,5 a 1,99	Úmido
	-0,49 a 0,49	Habitual
	-0,5 a -1,99	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	De -4 abaixo	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Araújo; Moraes Neto; Souza (2009, p.96.)

Os resultados obtidos com o IAC foram analisados e comparados entre os municípios que compõe a bacia hidrográfica do Moxotó. Concluídas as etapas anteriores foi realizada a representação espacial dos parâmetros analisados por meio da técnica estatística espacial Interpolação através do Inverso Ponderado da Distância (Inverse Distance Weighting – IDW), que estimou valores para pontos desconhecidos a partir da soma ponderada dos valores de “n” pontos conhecidos, tendo sido selecionado por não estimar dados maiores ou menores que os dados originais (LANDIM, 2000). Assim, as espacializações do IAC foram executadas através do software ArcGis 10.3, licenciado para o Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (DCG/UFPE), projetadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados pluviométricos da série histórica de 1989 a 2018 possibilitou analisar a variabilidade espaço-temporal das chuvas na bacia hidrográfica do rio Moxotó. Ressalta-se que a precipitação média anual da bacia é de 539,8 mm. A Figura 2 demonstra que durante os anos chuvosos apenas o ano de 1989 apresentou precipitação extrema com precipitação total anual de 926,7 mm. Há também anos com secas extremas como os anos de 1993, 1998 e 2012, com precipitações de 221,0 mm, 212,9 mm e 209,1 mm, respectivamente. Observou-se que a linha de tendência linear da precipitação se manteve estável ao longo da série analisada, seguindo próxima à média histórica.

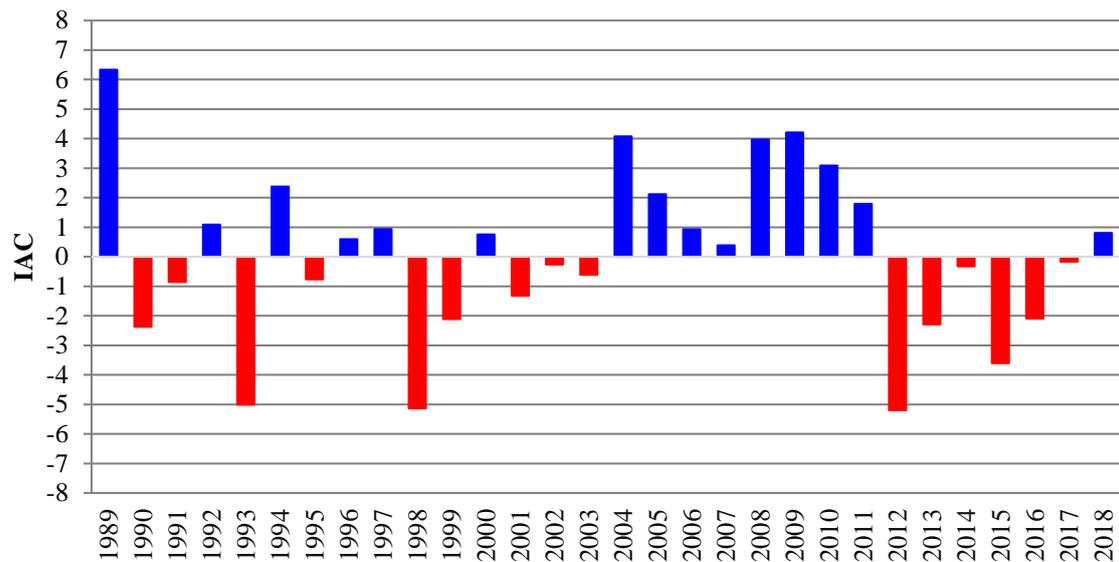
Figura 2 – Precipitação anual da bacia hidrográfica do rio Moxotó de 1989-2018

Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

O Nordeste brasileiro recebe influências diretas de vários sistemas atmosféricos como a ZCIT, VCAN e as Frentes Frias, além de influências das temperaturas das superfícies dos Oceanos Pacífico e Atlântico, os quais são determinantes na distribuição pluviométrica no sertão nordestino. O agravamento ou enfraquecimento de tais sistemas são determinantes na ocorrência de eventos extremos de precipitação (ALVES, 2016; REBOITA *et al.*, 2016; PALHARINI; VILA, 2017; LYRA *et al.*, 2018). A ZCIT, por exemplo, tem variações de posição ao decorrer do ano, se deslocando para o hemisfério norte entre agosto a novembro, favorecendo a ocorrência de secas mais intensas; enquanto a partir de dezembro, a ZCIT é deslocada para o hemisfério sul, alcançando a área de estudo (SILVA; GALVÍNCIO; COSTA, 2017). Outro exemplo muito importante são os VCANs, que podem contribuir tanto para condições úmidas quanto secas, isso depende da posição do vórtice, pois a sua borda carrega maior teor de umidade, enquanto o centro do VCAN impossibilita a precipitação, por ser uma área de subsidência do ar atmosférico (REBOITA *et al.*, 2016; REBOITA *et al.*, 2017).

A análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) possibilitou identificar padrões no comportamento da chuva na bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 3). Dos 30 anos pesquisados, verificou-se a variabilidade entre os anos secos e chuvosos, apresentando 4 anos habituais (-0,49 a 0,49), 15 anos secos, dos quais 4 foram secos (-0,5 a 1,99), 5 anos foram muito secos (-2 a -4) e 3 anos extremamente secos (abaixo de -4). Dos 15 anos chuvosos, 7 anos foram classificados como chuvosos (0,5 a 1,99), 4 anos muito chuvosos (2 a 4) e 3 anos extremamente chuvosos (acima de 4). Silva *et al.* (2017) ao estudarem o IAC para o município de Petrolina analisaram que os anos secos de 1993, 1998 e 2015 coincidem com os eventos de El Niño.

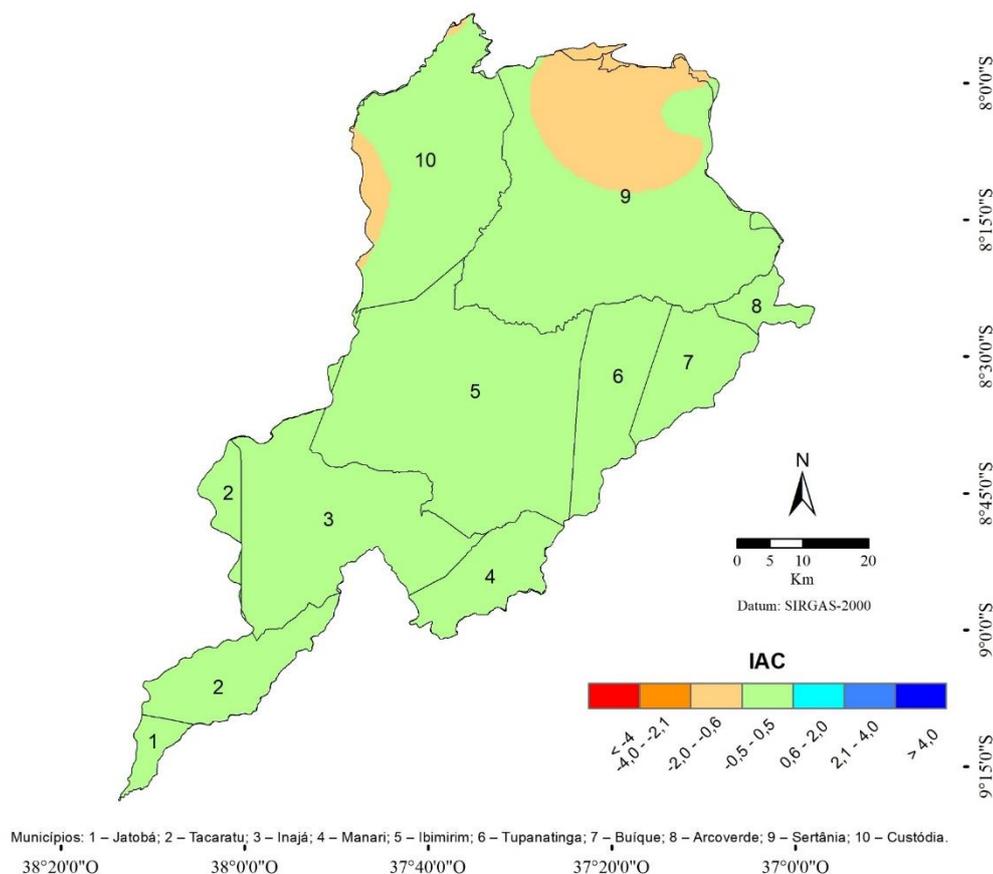
Figura 3 – Índice de Anomalia de Chuva bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

A Figura 4, revela a distribuição espacial anual do IAC para a bacia hidrográfica do rio Moxotó. Nesse contexto, o predomínio da faixa do IAC entre -0,5 a 0,5 demonstrou baixa anomalia de chuvas durante a série histórica, contudo a porção norte do município de Sertânia e parte da porção oeste de Custódia exibiram índice de anomalia entre -2,0 a -0,6. Costa; Silva (2017) ao analisarem a distribuição espaço-temporal das chuvas utilizando o IAC para o estado do Ceará (1973 a 2010) encontraram taxas negativas em todo o estado, mas com baixa oscilação, os índices verificados foram entre -0,02 a -0,28.

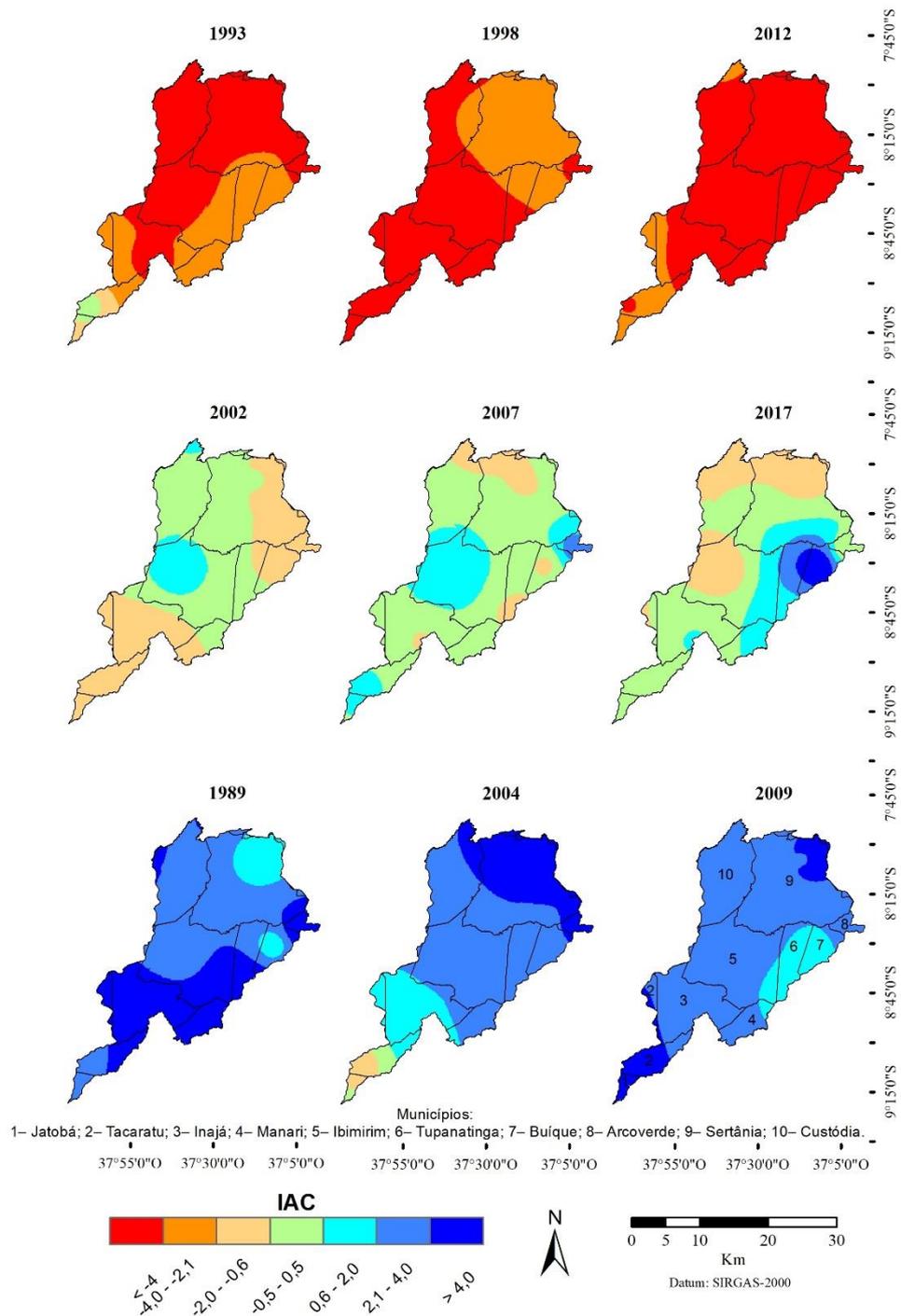
Figura 4 – IAC da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

A Figura 5, apresenta a espacialização do IAC nos anos de anomalias negativas (anos que registraram os menores índices pluviométrico na série histórica), os anos de chuvas habituais e os anos com as maiores anomalias positiva (precipitação acima da média histórica). O primeiro ano de anomalia negativa extrema (1993) teve uma variação entre abaixo de -4 a -0,5 em grande parte da bacia, mas índices entre -0,5 a 0,5 também foram encontrados na porção sudeste da região neste ano. Enquanto os anos de 1998 e 2012 demonstraram IAC negativo que oscila entre abaixo de -4 a -0,6. No ano de 1998, encontrou-se a classe entre -4,0 a -2,1 no município de Sertânia, na zona leste de Custódia, região norte do município de Tupanatinga, e em uma pequena parte da região oeste de Arcoverde e nordeste de Ibimirim. Ademais, as outras regiões da bacia encontram IAC abaixo de -4. Em 2012, o IAC teve variação entre abaixo de -4 a -2,1. A classe de -4 a -2,1 (muito seco) se restringiu apenas a região sudeste da bacia, em grade parte do município de Tacaratu, no oeste de Inajá e ao extremo norte de Custódia. Nos outros municípios da bacia e no extremo oeste de Tacaratu, o IAC teve índices abaixo de -4 (extremamente seco).

Figura 5 – Espacialização do IAC da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

Os anos mais próximos da média pluviométrica histórica de 539,8 mm foram: 2002, 2007 e 2017 com precipitações de 523,0, 563,5 e 529,0 mm, respectivamente. Dessa forma, esses três anos apresentaram o IAC habitual para a bacia hidrográfica do rio Moxotó, com classes entre -2,0 a 2,0 nos anos de 2002 e 2007, sendo que no ano de 2007 o IAC no município de Arcoverde ficou entre 2,1 a 4,0. No ano de 2017, o IAC obteve classes entre -2,0 a 0,5 na



porção norte/oeste. Enquanto na porção leste/sudeste o IAC oscilou entre 0,6 a acima de 4 e na porção sul/sudoeste as classes foram entre -2,0 a 2,0.

Nos anos de maiores precipitações (1989, 2004 e 2009) foram encontradas as maiores anomalias positivas. O ano de 1989 representou o ano mais chuvoso (926,7 mm), com isso revelou os maiores índices de IAC positivo com classes entre 0,6 a acima de 4. A classe entre 0,6 a 2,0 foi restrita apenas ao centro oeste de Buíque e parte do norte/nordeste de Sertânia, as demais regiões de ambos os municípios e da bacia tem IAC de 2,1 a acima de 4.

No ano de 2004, o IAC apresentou maior oscilação na bacia hidrográfica com variações entre as classes de -2,0 a 2,0 na região sudoeste, de 2,1 a 4,0 na porção central de sudeste a noroeste e taxas superiores a 4 na região norte-nordeste. Em 2009, a porção nordeste de Manari, sudeste de Ibimirim, Tupanatinga e Buíque apresentaram IAC entre 2,1 a 4,0 (com exceção da porção noroeste de Tupanatinga e nordeste de Buíque). Na porção sudoeste da bacia e na porção central da região norte do município de Sertânia, o IAC encontrado é superior a 4,0. Já as outras regiões da bacia apresentaram IAC na classe de 2,1 a 4,0.

Alves *et al.* (2016) explicam que a alternância entre valores positivos e negativos do IAC para a região Nordeste do Brasil ocorre em função dos fenômenos: Dipolo do Atlântico (responsável por aquecer e resfriar as águas do Atlântico Norte e Sul) e eventos anômalos no Oceano Pacífico associados ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Cerqueira; Santos; Aquino (2018) ao analisarem a bacia hidrográfica do rio Poti – PI entre 1963 a 2001 encontraram o índice de IAC no ano de 1989 muito úmido devido à La Niña moderada e a fase negativa do Dipolo do Atlântico. O ano de 1993, que apresentou IAC negativo elevado, tem relação com El Niño fraco, já que o dipolo neste ano foi considerado neutro. Já o ano de 1998 de IAC negativo também elevado teve forte relação com El Niño forte e com a fase positiva do Dipolo do Atlântico.

Assim, Diniz *et al.* (2020) ao estudarem a microrregião do Cariri Ocidental Paraibano entre 1999 a 2019 encontram seca extremamente elevada para o ano de 2012. Verificaram também IAC neutro nos anos de 2002 e 2007. Já os anos de 2004 e 2009 foram caracterizados por taxas de IAC muito alta e extremamente alta, respectivamente.

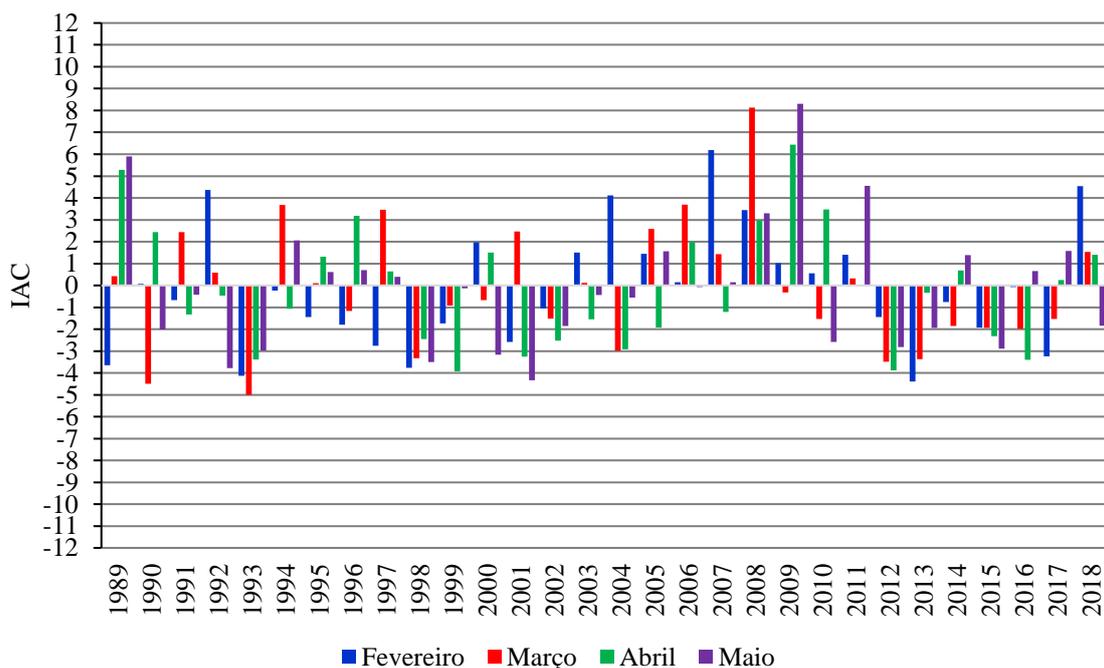
O ano de 2004 marcado por IAC com classes entre seco, habitual, úmido e principalmente as classes de muito úmido a extremamente úmido, foi o único ano em que a anomalia positiva de chuva não é caracterizada por efeitos de La Niña nem pela fase negativa do Dipolo do Atlântico, pois segundo Santos; Mendes; Cruz (2020), neste ano ambos os fenômenos se encontravam na fase neutra. No ano de 2009, a anomalia positiva ocorreu devido à simultaneidade de um evento de La Niña fraco e a fase positiva do Dipolo do Atlântico (SANTOS; MENDES; CRUZ, 2020)

Oliveira *et al.* (2020) ao estudarem a bacia hidrográfica do Alto Ipanema no estado de Pernambuco evidenciaram a influência do El Niño em anos de IAC negativos nos anos de 1995, 1998, 2003 e 2015. Enquanto a La Niña influenciou nos anos positivos de 1989, 2000, 2008, 2009 e 2011. Já a fase positiva do Dipolo do Atlântico influenciou os anos negativos de 1990, 1999, 2001, 2003, 2012 e 2013. Ao passo que a fase negativa influenciou nos anos positivos de 1989, 1992 e 1994.

A quadra chuvosa da bacia hidrográfica do rio Moxotó ocorre nos meses de fevereiro, março, abril e maio. Dessa forma, a Figura 6 representa o IAC da quadra chuvosa para o período de 1989 a 2018, com isso foram analisados 120 meses durante esse período. Na série foi possível analisar que entre 1989 a 2004 predominou um IAC entre o seco (-0,5 a -1,99), muito seco (-2,0 a -4,0) e extremamente seco (abaixo de -4,0). Já para o período de 2005 a 2011 predominou o IAC entre úmido (0,5 a 1,99), muito úmido (2,0 a 4,0) e extremamente úmido (acima de 4,0). Enquanto de 2012 a 2018 a bacia voltou a apresentar um período predominantemente seco, com classes entre o seco e o extremamente seco.

Lucena; Nóbrega; Wanderley (2017) ao analisarem o IAC do núcleo de desertificação de Cabrobó – PE, verificaram o IAC da quadra chuvosa. Nessa pesquisa os autores encontram entre 1989 a 2003 predomínio das classes de IAC entre seco, muito seco e extremamente seco. Já entre 2004 e 2010 predominou classes entre úmido, muito úmido e extremamente úmido. Enquanto de 2011 a 2016 houve predominância das classes seca e muito seca. Padrão similar ao encontrado na bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Figura 6 – Índice de Anomalia de Chuva da quadra chuvosa bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

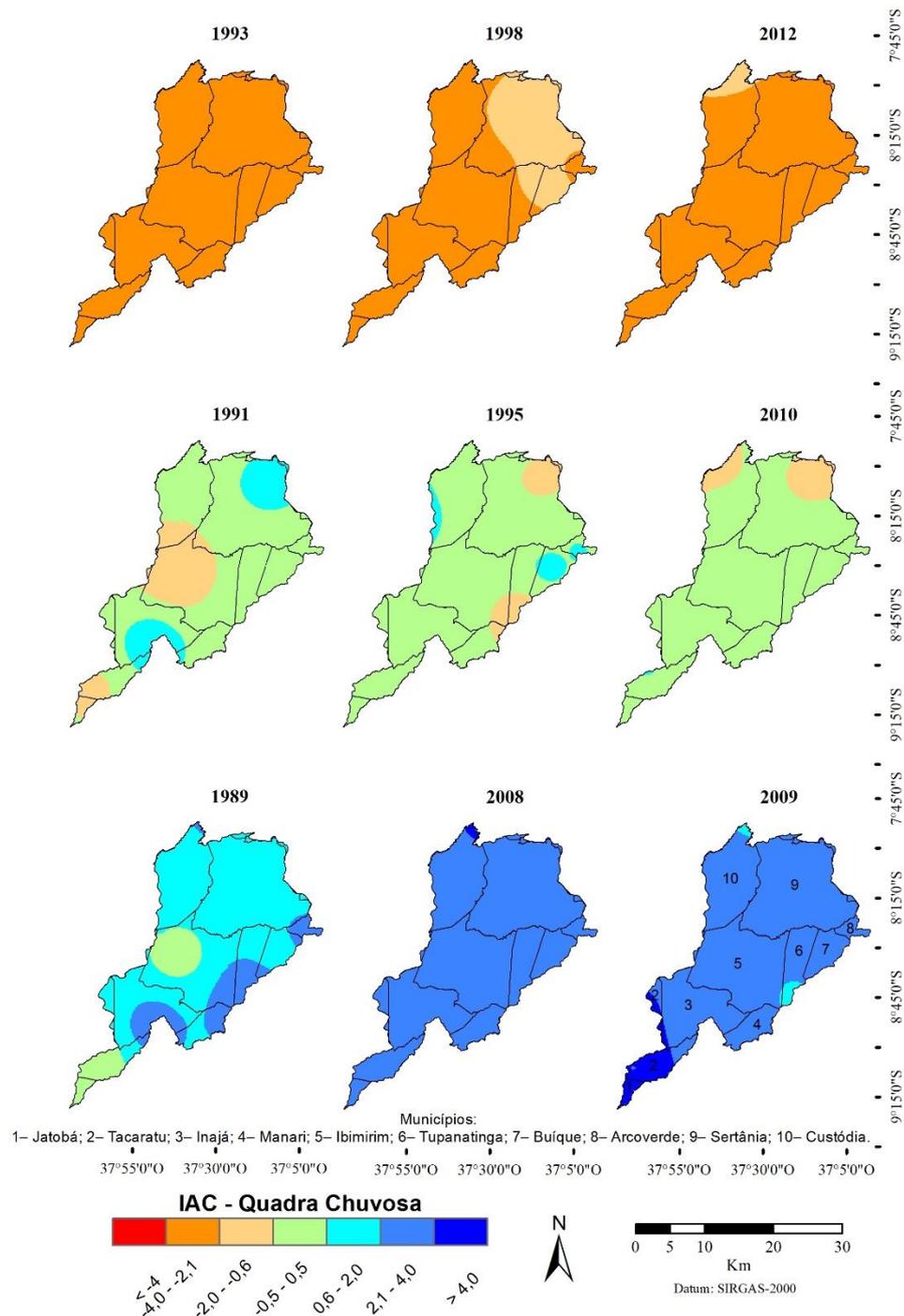
A Figura 7 representa a espacialização do IAC extremo negativo, extremo positivo e habitual. Os anos de 1993, 1998 e 2012 apresentaram o IAC da quadra chuvosa abaixo da média histórica. O ano de 1993 foi o ano com maior anomalia negativa, com classe de -4,0 a -2,1 em toda a bacia hidrográfica. Em 1998, a anomalia variou entre as classes de -4,0 a -0,6, sendo a classe de -2,1 a -0,6 restrita a porção nordeste da bacia, com exceção do município de Arcoverde que assim como as demais áreas da bacia tem IAC na classe de -4,0 a -2,1. Em 2012, o IAC



também oscilou entre as classes de -4,0 a -0,6, sendo a classe de -2,0 a -0,6 restrita ao norte do município de Custódia.

Os anos de 1991, 1995 e 2010 representaram o IAC habitual durante a quadra chuvosa (Figura 7). O ano de 1991 teve classe de seco (-0,5 a -1,99), habitual (-0,49 a 0,49) e úmido (0,5 a 1,99), com predominância da classe habitual, já a classe seca ocorreu apenas no oeste de Ibimirim, extremo sudoeste de Sertânia, porção sul de Custódia, oeste de Tacaratu e em grande parte do município de Jatobá. Enquanto a classe úmida foi verificada ao norte de Sertânia, nordeste de Tacaratu e sul Inajá. No ano de 1995 também foram encontradas as classes de seco, habitual e úmido, com predomínio da classe habitual. A classe seca foi encontrada ao norte de Sertânia, sul de Tupanatinga, sudeste de Ibimirim e nordeste de Manari. Já a classe úmida ocorreu apenas no extremo leste de Custódia, porção central de Buíque e sul de Arcoverde.

Figura 7 – Espacialização da quadra chuvosa do IAC na bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

Os anos de 1989, 2008 e 2009 apresentaram a anomalia positiva extrema na quadra chuvosa. No ano de 1989, o IAC oscilou entre as classes de -0,5 a 4,0, a classe de -0,5 a 0,5 foi encontrada apenas nos municípios de Jatobá, Tacaratu (região sudoeste da bacia) e na parte oeste de Ibimirim, a região nordeste de Tacaratu também registrou classes de 0,6 a 4,0. Já o município de Arcoverde, extremo norte de Custódia, sudoeste e nordeste de Buíque, sul de



Tupanatinga, sudeste de Ibimirim, nordeste e sudeste de Manari, sul de Inajá e nordeste de Tacaratu apresentaram classe de 2,1 a 4,0.

Analisando o IAC no município de Petrolina, Silva *et al.* (2017) demonstram que os anos 1993, 1998 e 2012 são considerados anos anômalos para a possibilidade de baixa precipitação, enquanto os anos de 2008 e 2009 tiveram grandes possibilidades de precipitação. Os autores apresentaram também o fenômeno de La Niña forte no período de 1988/1989, que influenciou o IAC úmido na bacia hidrográfica do rio Moxotó no ano de 1989.

Araújo; Moraes Neto; Sousa (2009b) analisaram o IAC durante a série histórica de 1910 a 2004 na sub-bacia do Taperoá e as maiores taxas de IACs negativos encontradas foram nos anos de 1912, 1993 e 1998, com classe muito seca. Já Pereira *et al.* (2017) ao estudarem o agreste de Pernambuco para o período de 1963 a 2013 encontraram os índices de anomalias negativas mais elevadas nos anos de 1993, 1998 e 2012, com as classes de extremamente seco e muito seco para a região.

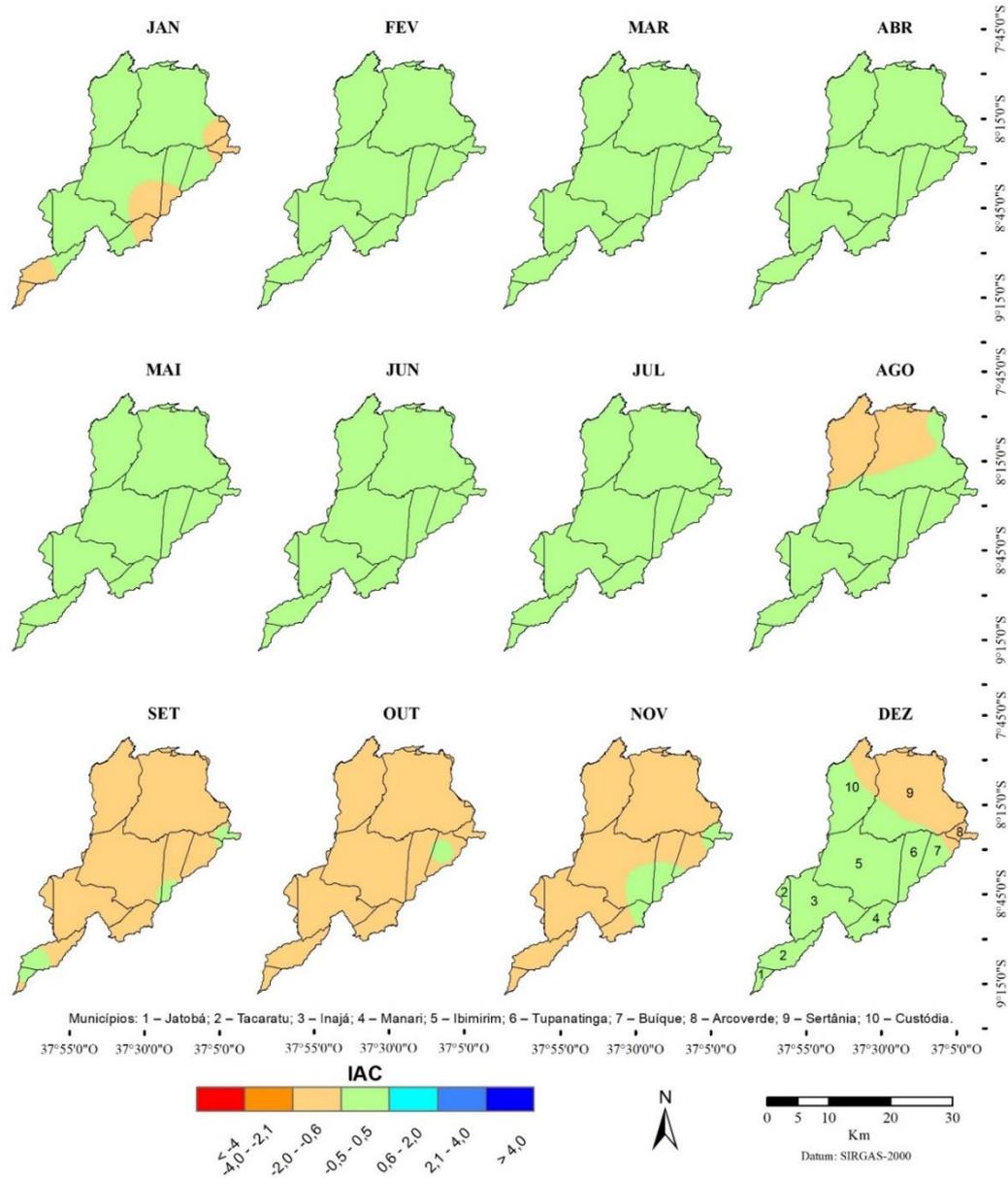
Os fatores que determinam a variabilidade climática no semiárido brasileiro são, a posição geográfica, o relevo, e os sistemas produtores de tempo. Os sistemas atmosféricos Alta da Bolívia (AB) associado ao Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) são importantes produtores de chuva no semiárido do nordeste brasileiro. Além disso, o principal sistema causador de chuva na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o qual suas oscilações nas posições e intensidades está relacionada a variação das altas subtropicais do Atlântico Norte e Sul e segue preferencialmente as regiões em que se encontra a temperatura da superfície do mar (TSM) mais elevada. Assim, a ZCIT é o principal sistema produtor de chuvas no semiárido durante a quadra chuvosa entre fevereiro e maio (MARENGO *et al.*, 2011).

Além disso, a variabilidade e as anomalias da TSM do Oceano Pacífico tropical e do Atlântico estão associadas a flutuações interanuais na precipitação do Nordeste do Brasil (NEB). Já o fenômeno ENOS, provocado pela interação entre oceano-atmosfera, é responsável por períodos secos no NEB. O El Niño é caracterizado pelas alterações nos padrões normais da TSM, que além de aquecer as águas na região do Pacífico Equatorial, é responsável por inibir a formação de nuvens e reduzir a precipitação no NEB, provocando períodos secos de moderados a fortes na região. Dessa forma, a La Niña provoca um esfriamento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, sendo esse fenômeno associado a períodos de maior precipitação na região. Um exemplo disso, é o evento de El Niño em 1997/1998, que provocou seca severa no semiárido brasileiro, e o evento de La Niña em 1988/1989, que provocou precipitações acima da média histórica para a região (MARENGO *et al.*, 2011).

O IAC mensal (Figura 8) apresentou dois períodos de anomalia de chuvas, o primeiro é o habitual (-0,5 a 0,5) entre fevereiro e julho e o segundo é a seca que possui oscilação entre a classe seca (-2,0 a -0,6) e a habitual entre agosto e janeiro. O mês de agosto foi marcado por um período de transição de anomalias habituais para seca, já que apenas o município de Custódia e o oeste de Sertânia apresentaram IAC entre -2,0 a -0,6. Enquanto os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram predominância de IAC seco na bacia. Assim, em setembro o IAC habitual ocorreu apenas no município de Arcoverde, no extremo sul de Tupanatinga e ao sul de Tacaratu e na região norte de Jatobá. Já em outubro o IAC habitual ficou restrito a região centro oeste do município de Buíque. Em novembro, o município de

Arcoverde volta a apresentar IAC habitual, encontrado também ao sul de Buíque, Tupanatinga, sudeste de Ibimirim e norte de Manari.

Figura 8 – Espacialização do IAC mensal da bacia hidrográfica do rio Moxotó



Fonte: APAC (2020). Elaborado pelos autores (2021).

Os meses de dezembro e janeiro foram marcados por um período de transição do IAC seco para habitual, já que ambos os meses apresentaram predominância de IAC habitual. Em dezembro, o IAC oscilou entre habitual e seco, no qual o período seco ficou restrito a região norte da bacia (região nordeste de Custódia, norte de Buíque, Arcoverde e em grande parte de Sertânia).



ARAÚJO; MORAES NETO; SOUSA (2009) explicaram que no Alto Paraíba a quadra chuvosa ocorre entre os meses de fevereiro a maio, março é o mês de maior precipitação devido à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atinge seu ponto máximo neste mês. Já os menores valores de precipitação para essa região ocorreram nos meses de agosto a novembro, enquanto nos meses de dezembro e janeiro a precipitação volta a crescer.

A pesquisa revelou que o quantitativo pluviométrico não apresenta tendências significativas de aumento ou diminuição. Com isso, observou-se que são raros os eventos extremos de chuvas e secas severas durante a série histórica pesquisada. Foi observado também a relação entre os eventos de estiagem e de intensas precipitações com o fenômeno de El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico. Além da relevância dos sistemas produtores de tempo como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos do Altos Níveis (VCANs).

CONCLUSÕES

O estudo da variabilidade espaço-temporal de precipitação e do índice de anomalia de chuvas da bacia hidrográfica do rio Moxotó permitiu avaliar a irregularidade pluviométrica e os eventos extremos de precipitação. O IAC de forma simples e eficaz, proporcionou analisar a dinâmica de distribuição pluviométrica anual da série histórica de 1989 a 2018, possibilitando classificá-los conforme os graus de anomalias positivas e negativas, comprovando ser um ótimo instrumento de análise climática e regional. Dessa forma, foi verificado que não há mudanças evidentes nos padrões climáticos da precipitação na bacia hidrográfica do rio Moxotó.

A pesquisa evidenciou também que os fenômenos de El Niño e La Niña influenciam nos períodos secos e chuvosos, respectivamente. Isso ocorre devido à influência que esse fenômeno provoca na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico produtor de chuvas da região semiárida do Nordeste do Brasil. Sendo esse sistema também responsável por chuvas durante a quadra chuvosa.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALVES, K. M. Variabilidade pluvial no semiárido brasileiro: Impactos e vulnerabilidades na paisagem da bacia hidrográfica do rio Moxotó. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

ALVES, J. O. *et al.* Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v. 14, n. 1, p. 37-47, 2016.

Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). **Bacias hidrográficas**. Recife-PE, 2020. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 30 out. 2020.



Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 13 nov. 2020.

ARAÚJO, L. E. *et al.* Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2007.228680>.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.

CERQUEIRA, K. F.; SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Análise das precipitações pluviométricas em trecho do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti (Piauí), a partir do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 45, n. 1, p. 110-122, jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v45i1.51001>.

COSTA, J. A.; SILVA, D. F. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1002-1013>.

COSTA, S. A. T. *et al.* Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, 2021. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v18e14>.

DINIZ, R. R. S. *et al.* Índice de anomalia de chuvas da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, 2628-2640, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2628-2640>.

FREITAS, M. A. S. Previsão de secas e a gestão hidroenergética: o caso da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba no nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional Sobre Represas y Operación de Embalses, Puerto Iguazú. Anais do Seminário Internacional Sobre Represas y Operación de Embalses: Puerto Iguazú: CACIER, v. 1. p. 1-1. 2004.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. suplem., p. 84-95, 2005.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C.A.F. (Org.). **Clima urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Geociências**. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21 mar. 2021.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP, 2000.



LYRA, M. J. *et al.* Diagnóstico de um Complexo Convectivo de Mesoescala Observado no Semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 06 p. 1998-2009, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p1998-2009>.

LUCENA, J. A.; NÓBREGA, R. S.; WANDERLEY, L. S. A. Anomalias de temperatura da superfície do mar e a variabilidade pluviométrica no núcleo de desertificação de Cabrobó/PE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 34, n. 3, p. 239-256, 2017. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2017.229379>.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; ROCHA, H. M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n.4, p. 157-167, 2011.

MARENCO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, Campina Grande: INSA, p. 383-422. 2011.

MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016.

MARENCO, J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 21, p. 1973-1985, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MATTOS, L. C.; MAY, P. Duas secas climaticamente análogas no semiárido nordestino com impactos sociais distintos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 28-53, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v55i0.73796>.

MELO, C. R. Análise do eixo leste da transposição do rio São Francisco face aos cenários de uso previstos. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

OLIVEIRA, T. H. *et al.* Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2009, Natal. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Natal, Rio Grande do Norte, 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2009/03.02.18.19/doc/@sumario.htm?langua=button=en>. Acesso em: 17/12/2023.

OLIVEIRA, J. D. A. *et al.* Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. **Revista Brasileira de Meteorologia [online]**, v. 35, n. 4, p. 585-596, 2020.

OLIVEIRA, T. H. *et al.* Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, p. 55-69, 2010.



PALHARINI, R. S.; VILA, D. A. Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northesast Region of Brazil. **Center for Wheater Forecasting and Climate Research**, v. 10. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5916150>.

PEREIRA, M. L. T. *et al.* Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394-402, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1452.394-402>.

REBOITA, M. S. *et al.* Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista brasileira de climatologia**, v. 19, p. 254-277, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.42091>.

REBOITA, M. S. *et al.* Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1, p. 41-59, 2017. [10.5935/1984-2295.20170004](https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170004).

RODRIGUES L. O. *et al.* Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1995-2009>.

ROOY, M. P. V. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**. Notes, v. 14, 1965.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/Rs (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 73–84, 2014. <https://doi.org/10.14393/RCG155126423>.

SANTOS, F. A.; MENDES, L. M. S.; CRUZ, M. L. B. Avaliação de ocorrências de eventos climáticos extremos na sub-bacia hidrográfica do rio Piracuruca. **Revista GEOgrafias**, v. 28, n. 1, p. 43-61, 2020. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2020.22249>.

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B.; RIBEIRO, G. N. Eventos extremos de precipitação no sertão paraibano: Variação espaço-temporal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 748-755, 2017. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4938>.

SILVA, A. R. *et al.* Variação no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 377-384, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>.

SILVA, M. S.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. Abordagem interdisciplinar sobre a influência da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT no Nordeste brasileiro. **Movimentos sociais e dinâmicas espaciais**, v. 6, n. 2, p. 107-117 2017. <https://doi.org/10.51359/2238-8052.2017.230721>.

HISTÓRICO

Submetido: 18 de abril de 2023.

Aprovado: 26 de dezembro de 2023.

Publicado: 28 de dezembro de 2023.



DADOS DO(S) AUTOR(ES)

Gabriel Victor Silva do Nascimento

Mestrando em Ciências Climáticas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, CEP: 59078-900.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0539-9183>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6087222766593591>.

E-mail: nascimento.gabriel@outlook.com.br.

Eberson Pessoa Ribeiro

Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. Endereço para correspondência: Av. Prof. Luís Freire, 500, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 50740-545.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8316-6505>.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8381671303531522>.

E-mail: ebersonpessoa@recife.ifpe.edu.br.

COMO CITAR O ARTIGO - ABNT

NASCIMENTO, Gabriel Victor Silva do; RIBEIRO, Eberson Pessoa. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Moxotó. **Revista GeoUECE**, Fortaleza (CE), v. 12, n. 23, e2023006, 2023. <https://doi.org/10.59040/GEOUECE.2317-028X.v13.n23.e2023006>